



Høgskulen  
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE:

BO19E-14

Testing  
av  
Gamma Scintillasjonsdetektor

---

Endre Standnes  
Jakob Svensholt  
Athavan Sivakumaran

31. mai. 2019

## Dokumentkontroll

<i>Rapportens tittel:</i> BO19E-14 Testing av gamma scintillasjonsdetektor	<i>Dato/Versjon</i> 31. mai. 2019/3.0
	<i>Rapportnummer:</i> B019E-14
<i>Forfatter(e):</i> Endre Standnes Jakob Svensholt Athavan Sivakumaran	<i>Studieretning:</i> HEAU16
	<i>Antall sider m/vedlegg</i> 34
<i>Høgskolens veileder:</i> Ilker Meric, Kyrre Skjerdal	<i>Gradering:</i> Åpen
<i>Eventuelle Merknader:</i> Vi tillater at oppgaven kan publiseres.	

<i>Oppdragsgiver:</i> Emerson Roxar Flow Measurement	<i>Oppdragsgivers referanse:</i>
<i>Oppdragsgivers kontaktperson(er) (inkludert kontaktinformasjon):</i>  Stein Arild Tjugum	

Revisjon	Dato	Status	Utført av
0.1.1	21.01.19	Første utkast forstudie	Athavan Sivakumaran
0.1.2	23.01.19	Oppdatert utkast forstudie	Athavan Sivakumaran
0.1.3	27.01.19	Oppdatert utkast forstudie	Athavan Sivakumaran
0.1.4	30.01.19	Ferdig versjon av forstudie	Athavan Sivakumaran
0.2.0	20.04.19	Første utkast Bachelor	Athavan Sivakumaran
0.2.1	03.05.19	Oppdatert første utkast Bachelor	Athavan Sivakumaran
0.2.2	22.05.19	Oppdatert første utkast Bachelor	Athavan Sivakumaran
0.2.3	25.05.19	Oppdatert første utkast Bachelor	Athavan Sivakumaran
0.3.0	27.05.19	Ferdigstilt første utkast Bachelor	Athavan Sivakumaran

## **Førord**

Vi ønsker å takke:

Vår veileder Ilker Meric, for fantastisk veiledning og oppfølging. Vi har fått stor nytte av hans faglige kompetanse og setter pris på at han har vært tilgjengelig når vi har trengt veiledning.

Vår assisterende veileder Kyrre Skjerdal, for fantastisk veiledning og for å ha gitt oss et annet perspektiv angående teori og metodikk.

Vår kontakt person i Roxar, Stein Arild Tjugum. Vi ønsker å takke for alt utstyret vi har fått og for veiledning innenfor hvordan de ulike komponentene fungerer.

Vår utstyrsansvarlig Farzan Jouleh for hjelpen med å bestille komponentene vi trengte.

En siste takk går til Høgskulen på Vestlandet, for tilgang til forskningslabben og MR-labben.

## **Sammendrag**

Hensikten med oppgaven er å fullføre en studie på hvordan forskjellige scintillasjonsmaterialer reagerer på stråling fra ulike radioaktive kilder. Tanken er å ha flere scintillasjonsmaterialer med flere egenskaper og strålingskilder av ulike typer. Ved å ta målinger når vi sendte stråling på de forskjellige materialene ville vi sammenligne ulike parametere som f.eks. energitetthet. En slik helhetlig studie vil kunne brukes til å se hvilke materialer som har best egnede egenskaper i henhold til ulike strålings kilder.

Vi har testet ut flere løsningsalternativer og funnet frem til den vi mener fungerer best. Resultatene våre gir en ide om hvordan en helhetlig studie kan fullføres, men målingene er ikke nok til å kunne sammenligne alle parameterne og finne det beste materialet.

# 1 Innhold

Dokumentkontroll .....	2
Forord .....	3
Sammendrag .....	4
1 Innledning .....	6
1.1 Grunnleggende teori .....	6
1.1.1 Flerfasemåler .....	6
1.1.2 Gammadensitometri .....	6
1.1.3 SiPM .....	7
1.1.4 Scintillasjonsmateriale .....	8
1.2 Oppdragsgiver .....	8
1.3 Problemstilling .....	9
1.4 Roxar flerfasemåler .....	9
1.5 Hovedidé for løsningsforslag .....	10
2 Kravspesifikasjon .....	10
3 Analyse av problemet .....	11
3.1 Utforming av mulige løsninger .....	11
3.1.1 Løsningsalternativ 1 .....	11
3.1.2 Løsningsalternativ 2 .....	12
3.1.3 Løsningsalternativ 3 .....	15
3.1.4 Vurderinger i forhold til verktøy og HW/SW komponenter .....	17
3.2 Løsnings alternativ konklusjoner .....	20
4 Realisering av valgt løsning .....	21
5 Diskusjon .....	23
5.1 Komplikasjoner og risiko .....	23
5.2 Analyse av data .....	24
6 Konklusjon .....	28
Referanser .....	29

# 1 Innledning

## 1.1 Grunnleggende teori

### 1.1.1 Flerfasemåler

En flerfasemåler er et system som måler flere aspekter av et fluid som består av en blanding av flere faser. Her refererer faser til faser av stoff, hvor de mest vanlige å måle er gass, vann og olje. Det er flere hovedtyper flerfasemålere som for eksempel: separasjonsmåler der noen av fasene separeres og måles individuelt, våtgassmåler som spesialiserer seg på å måle fluider som er over 85% gass, og in-line måler som måler alt fra 25%-85% gass uten å separere dem.

Vi skal fokusere på in-line målere og hvordan de fungerer. Den store fordelen med in-line målere er at man ikke trenger å separere de forskjellige fasene av stoff for å få målinger på tetthet, fart og strømningsmengde. Ulempen med denne typen måler er at de forskjellige fasene kan ha forskjellig fart og dermed ha en forskjellig strømningsrate. For å løse dette må du enten ha en mikser før måleren, eller ha flere kalibreringsfaktorer fastslått.

Flerfasemålere bruker flere forskjellige måleprinsipper for å måle strømningsrate på fluidet. En ofte brukt løsning er Venturi, som bruker en innsnevring i diameteren på røret og endringen i trykket for å måle strømningsrate. Det er også vanlig å bruke krysskorrelasjon. Der brukes to identiske målere i en kjent avstand i fra hverandre til å måle endringer i gass og væske forholdet i sin posisjon, deretter kan man se hvor lang tid det tar for at en endring som har blitt observert på den første sensoren blir observert på den andre. Den mest vanlige sensortypen å bruke til krysskorrelasjon er kapasitans sensor, men det er også mulig å anvende ultralyd, gammastråledemping, mikrobølger og differensialtrykk. [1]

Denne typen flerfasemåler brukes vanligvis i oljeindustrien på produksjonsrør. Et eksempel på dette er Roxar MPFM 2600 MVG. Denne flerfasemåleren bruker elektrisk impedans og gamma sensorer for å fastslå tetthet og komposisjon av fluidet i røret, og den bruker Venturi og kryss korrelasjon for å bestemme hastigheten på fluidet. [2]

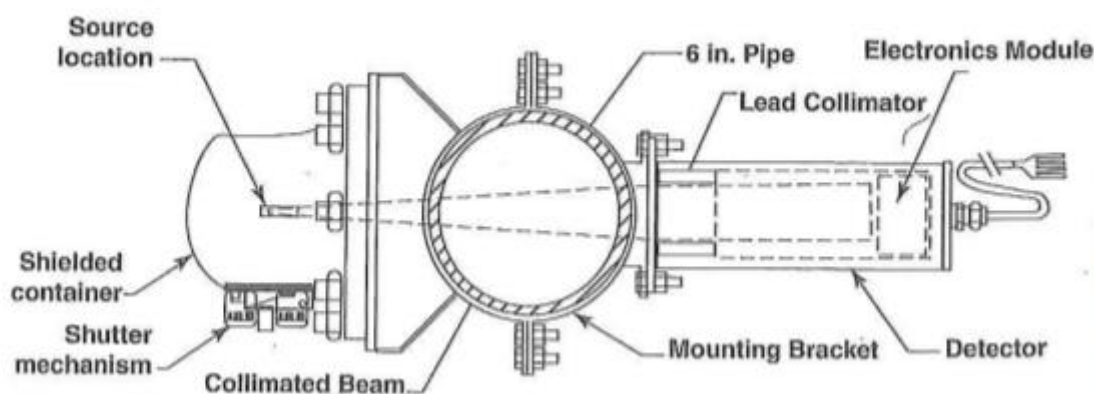
### 1.1.2 Gammadensitometri

Gammadensitometri er en målemetode for å finne tettheten på et materiale. Dette gjøres ved å sende gamma stråling (høy energi fotoner) gjennom et materiale og måle på den andre siden hvor mye intensitet strålen mister. Siden vi vet intensiteten til kilden, kan vi finne ut tettheten til materialet mellom kilde og sensor ved å se hvor mye intensiteten minker og har dermed blitt absorbert av materialet. Ved å bruke to forskjellige kilder med ulike energinivå og forskjellige penetrasjonsevner kan vi se forskjellen

mellom absorbert intensitet og bestemme forholdet mellom de forskjellige stoffene. Siden gass har lav tetthet i forhold til væske vil det være lett å skille mellom dem. [1]

Gammadensitometri kan også brukes til å finne hastigheten til fluidet inni rør. Dette gjøres ved at to identiske gammadensitotrimålere settes opp i en kjent avstand i fra hverandre og måler kontinuerlig. Det som vil skje er at dataene fra de to målerne vil være identiske til hverandre, men den som er lengre nede i strømrretningen i røret vil være litt forsinket. Ved å måle tiden på denne forsinkelsen kan vi bestemme hastigheten til fluidet. Siden gammadensitotrimåleren måler endringer i tetthet vil det være mer nøyaktig å si at denne metoden bestemmer hastigheten på gassboblene inne i fluidet. Dette er fordi det som skaper den mest markante variasjonen i tetthet er gassboblene. Denne metoden kalles krysskorrelasjon [1]

En av hoved fordelene med å bruke gammadensitometri målere er at de har ingen bevegende deler og ingen deler som er i strømmen, dermed er det ingen slitasje og erosjon på utstyret. Det eneste som påvirker utstyret over tid er drift på detektoren og halveringstiden på kilden. [1]



Figur 1: Tverrsnitt av en typisk Gammadensitometri måler. [3] figur 7.1 side 214

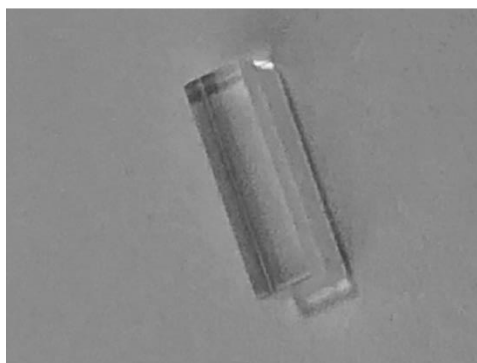
### 1.1.3 SiPM

Silisium foto-multiplikator (SiPM) er en type sensor som brukes til å måle et visst spekter av elektromagnetisk stråling. Den består av flere «Single-Photon Avalanche Dioder» (SPAD) satt sammen. En diode er en komponent som kun tillater strøm å slippe gjennom i en retning. En enkelt SPAD er en halvleder diode med en p-n overgang designet for å operere med revers bias over nedbrytings spenningen. Den klarer å detektere enkelt fotoner ved at det elektriske feltet er sterkt nok til at når et foton treffer p-n overgangen og ioniserer et atom vil det oppstå en kjedereaksjon hvor elektroner blir sluppet løs i den positive delen, og et som utløser et elektron ras som slipper strøm gjennom. Kretsen

stopper raset automatisk etter at et signal har blitt sendt gjennom og lader opp igjen det elektriske feltet. Hele denne prosessen tar noen nanosekunder. [4, p. 302]

#### 1.1.4 Scintillasjonsmateriale

Et scintillasjonsmateriale er et stoff som sender ut en proporsjonal mengde med scintillasjonslys når det blir truffet av ioniserende stråling. Dette skjer via deler av energien fra ioniserende stråling eksiterer atomene i scintillasjonsmateriale som returnerer til grunntilstand ved å sende ut den ekstra energien som scintillasjonslys. [4, p. 223]



*Figur 2 LYSO scintillator krystall [5]*

## 1.2 Oppdragsgiver

Oppdragsgiveren vår er Emerson Roxar Flow Measurement. Dette er et firma som spesialiserte seg innen oljevirkosomhet. Emerson er eierselskapet til Roxar og ble grunnlagt i 1890 i St. Louis Missouri i USA. Til å begynne med var de et selskap som produserte elektriske motorer og vifter. De siste 100 årene har selskapet gått fra å være en lokal produsent til å bli internasjonal distributør av teknologiske løsninger. I 2009 kjøpte Emerson firmaet Roxar AS og det er dette firmaet som har gitt oss i oppgave å fullføre en studie som er relevant for dem. [6]

Roxar er en virksomhet som operer innen feltene olje og gass. Hovedkvarteret ligger i Stavanger og de har per i dag 62 ansatte fordelt over arbeidsplassene. Firmaet fokuserer hovedsakelig på undervannsvirksomhet og tilbyr produkter og tjenester som er relevant til drift av olje- og gassreservoar. De har skapt programvare for tolkning, modellering og simulering av reservoarer. I tillegg tilbyr de utstyr for planlegging og overvåkning av reservoaret.

Omsetningen til firmaet var på 205 millioner kroner i fjor. Dette tyder på at det er et marked for produktene deres. De kundegruppene Roxar prøver å nå ut til er hovedsakelig andre firmaer som også operer innenfor felt som olje og gass. [7] [8]



### 1.3 Problemstilling

I dag har firmaet Roxar Flow Measurement gode løsninger når det kommer til de målerne deres, men de ønsker å gjøre produktene deres både sikrere og billigere. De ønsker å klare dette ved å ta i bruk nyere teknologi som er tilgjengelig på markedet. Vår oppgave går ut på å gjøre forsøk ved bruk av SiPM og gi de en bedre oversikt over hvilke forbedringer de kan gjøre på produktene deres.

Roxar Flow Measurement bruker scintillasjonsdetektorer for gammastråling i målinger av tetthet til et materiale inne i et rør. En Scintillasjon detektor består av to hovedkomponenter: scintillasjonsmateriale og fotosensor. Vi har fått oppgave å lage en studie på de forskjellige typene scintillasjonsmateriale og hvor godt de fungerer sammen med ulike typer fotosensorer spesielt silikon fotomultiplikator i forhold til fotomultiplikator rør.

### 1.4 Roxar flerfasemåler



Flerfasemåleren til Roxar Flow bruker gammadensitometri som en av metodene for å bestemme tettheten til et fluid som kan bestå av en blanding av olje, gass og vann. For de fleste målerne står kilden montert vinkelrett på måleren. Strålingen må i alle tilfeller treffe scintillator-materialet til detektoren som er montert vinkelrett på måleren på motsatt side. Ved å se på lengden til sensoren kan vi anta at de bruker et fotomultiplikatorrør for å måle gamma stråler. Vi kan også se ut fra spesifikasjonene at den trenger 85-246 volt AC. [2]

Denne måleren bruker en scintillasjonsdetektor med et fotomultiplikator-rør (PM-rør) for å måle stråling. Et PM-rør et apparat som konverterer lys til om til et proporsjonalt elektrisk signal ved å akselerere alle fotoelektronene med et sterkt internt elektrisk felt. Dersom de bruker SiPM som løsning, vil størrelsen til sensoren kun være avhengig av scintillatoren. Dermed trenger de kun å bruke 20-40 V AC. Det som kan være en ulempe når det kommer til å bruke SiPM over PM-rør er at SiPM sin effektivitet er mer avhengig av temperatur enn et PM-rør.

Figur 3: flerfasemåler Roxar MPFM 2600 MVG [1]

## 1.5 Hovedidé for løsningsforslag

Finne en løsning med like god sensitivitet som dagens systemer, men med lavere kostnader. Vi skal gjøre dette ved å teste flere forskjellige typer fotosensorer og scintillasjonsmateriale over lengre tid. Dette vil la oss kunne sammenligne dataene fra de forskjellige sensorene og velge den beste kombinasjonen. Oppdragsgiver skal så bruke informasjonen fra oppgaven vår til å gjøre forbedringer på utstyret de bruker i dag.

## 2 Kravspesifikasjon

- Kravet vi fikk fra Roxar var å lage en rapport på effektiviteten til SiPM for bruk i flerfasemåleren deres.
- Et scintillator-materiale og halvleder komponent for måling av lys fra scintillator skal velges.
- Man skal sette sammen scintillator og lys-utleser og detektere gamma stråling fra bakgrunnsstråling eller fra en liten test-kilde.
- Ulike egenskaper for denne detektoren skal undersøkes; stabilitet over tid, temperatur-sensitivitet, energispekter.
- Testing av effektiviteten til scintillasjons materialer sammen med SiPM og fastslå hvilke typer som kan brukes i hvilke situasjoner
- Gjennomgå testing så de kan forutse hvordan den kommer til å operere hvis den skal blitt brukt i felt.
- Sammenligne SiPM med hvordan Roxar sine systemer fungerer i dag og bedømme om det ville vært hensiktsmessig å bruke et nytt system.

### 3 Analyse av problemet

Vi trenger en løsning som kan opprettholde alle kravene vi har blitt gitt, systemet vi lager må dermed kunne:

1. Operere med flere forskjellige scintillatormaterialer.
2. Samle inn relevant data automatisk over lengre tid og lagre det.

For å oppfylle det første kravet må overgangen mellom SiPM og scintillasjonsmaterialet lages slik at det er mulig å bytte den ut med andre materialer. Delen som holder scintillasjonsmaterialet må dermed være modulært eller justerbart slik at det kan tilpasses nye scintillatorer.

For å oppfylle det andre kravet må dataen som blir sendt ut fra SiPM registreres av en sensor som kan måle spenning og deretter sende målingene til en lagringsplass. Det vil være ønskelig om den kan måle energien på hele pulsen og lagre det direkte for å minske databearbeidingstid. Dette betyr at målesystemet må kunne skrive en fil på en digital minnelagringseenhet og kunne måle spenning over tid.

#### 3.1 Utforming av mulige løsninger

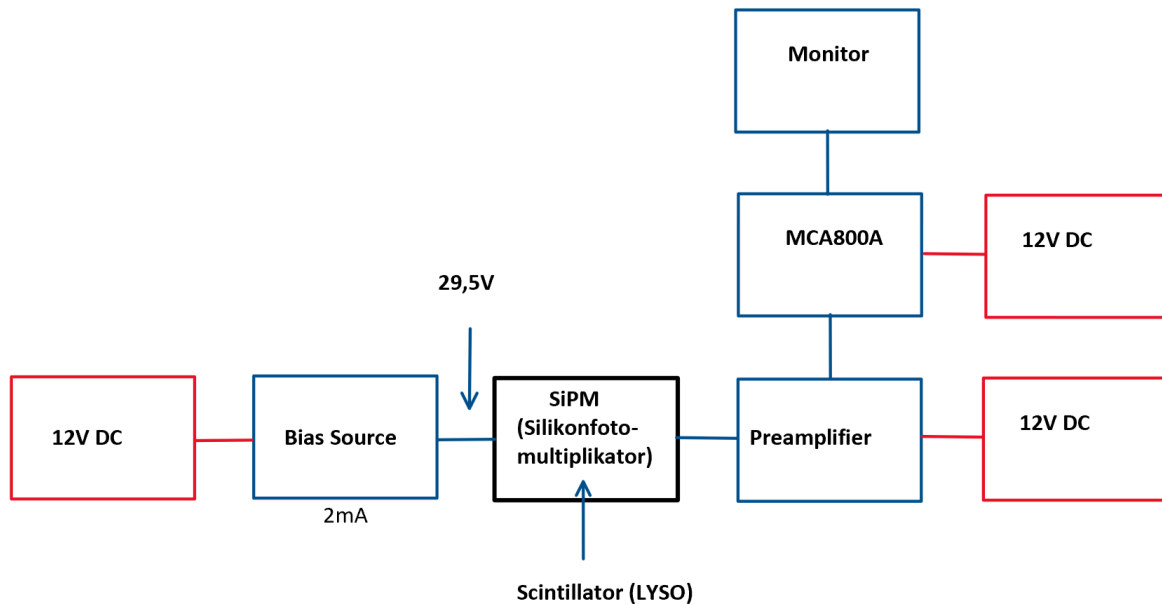
##### 3.1.1 Løsningsalternativ 1

Den første løsningen vi tilnærmete oss er basert på bruken av en Multi Channel Analyser (MCA). MCA er et apparat som kan måle distribusjonen av analoge pulser og digitalisere dem. Softwaren vi brukte for å lese data fra MCA en heter ADMCA som er laget av Amptek. [9]



Figur 4 MCA 8000A, lånt fra Roxar

Vi fikk en MCA8000A av Roxar for å kunne samle inn data fra målingene våre. Dette utstyret bruker eldre programvare og er ikke kompatibel med nyere operativsystemer. Når vi prøvde å samle inn data, koblet vi den til en Windows 10 maskin. Da frøs programmet umiddelbart og begynte ikke å kjøre igjen før etter at vi koblet fra MCAen. Når vi testet den samme programvaren med samme MCA på en Windows XP maskin fungerte programmet.



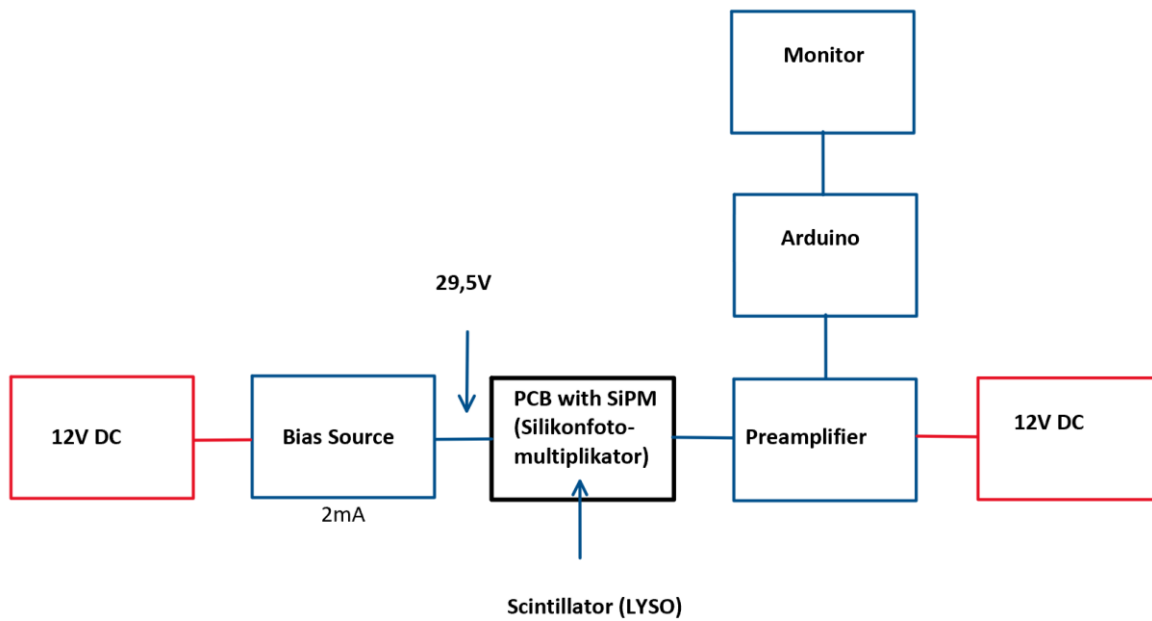
Figur 5 MCA blokkdiagram

### 3.1.2 Løsningsalternativ 2

Vi fant ut vi måtte prøve andre løsningsalternativer ettersom vi møtte flere problemer knyttet til bruken av MCA programvaren. Det neste løsningsalternativet ble å koble utstyret til en Arduino Uno, og lage et script i C# for å styre prosessen. Vi vil helst ha en automatisert løsning for å slippe å lagre målinger manuelt. En slik automatisert løsning er mye mer effektiv og man sparer dermed masse tid.



Figur 6: Arduino Uno [10]



Figur 7: Arduino blokkdiagram

```
int sensorValue;
unsigned long int i = 0;
unsigned long int tid = 0;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  // read the input on analog pin 0:
  sensorValue = analogRead(A0);
  while (sensorValue <= 250 // || sensorValue >= 20)
  {
    sensorValue = analogRead(A0);
    if (millis() >= (tid + 10000))
    {
      Serial.println(i);
      i = 0;
      tid = millis();
    }
  }
  i++;
}
```

Figur 8: Program som kjører på Arduino og leser verdien til analog inngang så ofte som mulig og teller opp når den er over en viss verdi og sender antall tellinger til pc hvert tiende sekund

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.IO.Ports;
using System.Text;
using System.IO;

namespace BachelorOppgave
{
  class Program
  {
    static SerialPort _serialPort;
    static void Main(string[] args)
    {
      string filePath = "Målinger.txt"; //Filplassering
      bool ferdig = false;
      int i = 0;

      _serialPort = new SerialPort();
      _serialPort.PortName = "COM6";
      _serialPort.Open();

      List<string> list = new List<string>();

      DateTime today = DateTime.Today;

      Console.WriteLine(today.ToString("dd/MM/yyyy"));

      while (!ferdig)
      {
        string filetext = DateTime.Now.ToString("HH:mm:ss - ") + _serialPort.ReadLine() + Environment.NewLine;
        list.Add(filetext);
        File.WriteAllLines(filePath, list, Encoding.Unicode);

        Console.WriteLine(list[i]);
        i++;

        if (ferdig)
        {
          _serialPort.Close();

          Console.WriteLine(today.ToString("dd/MM/yyyy"));
          Console.WriteLine("Avslutter programmet og lagrer målinger.")
        }
      }
    }
  }
}
```

Figur 9 Skriver data som den mottar fra arduinoen til fil på PC med tidsstempel

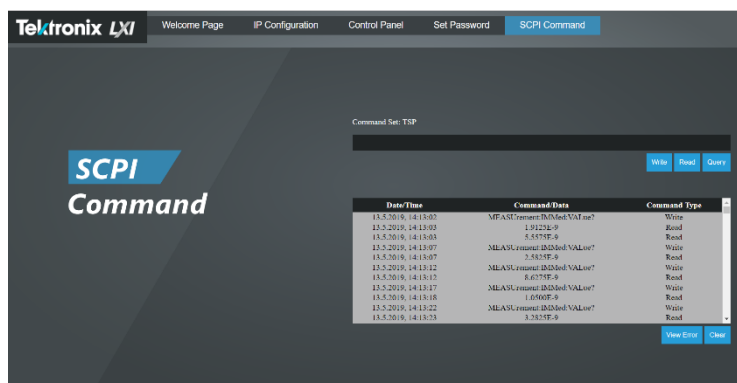
Dette scriptet i Figur 8 er laget for å hente inn signalene fra kilden. Programmet får inn analoge spennings signaler og registrer målingene. Videre så lagrer programmet i Figur 9 det til en separat fil. Programmet gir oss altså en oversikt over alle målingene vi har tatt og lagrer filene automatisk. Når vi eksperimenterte med å samle inn data med Arduino hadde vi først problemer med en dårlig analog inngang og mye støy. Når vi byttet inngang og satte på en opamp til signalet klarte vi å få noen tellinger kun når biasen var tilkoblet, men det fikk vi uansett om LYSO [11] krystallen var der eller ikke. Vi fikk ikke testet om vi fikk mer tellinger når krystallen var der fordi vi bestemte oss for å ta andre målinger før vi kunne ta testene over noen signifikant tid. Ulempen med dette programmet er at Arduino bare detekterer at pulsene er der ikke hvor store de er.

### 3.1.3 Løsningsalternativ 3



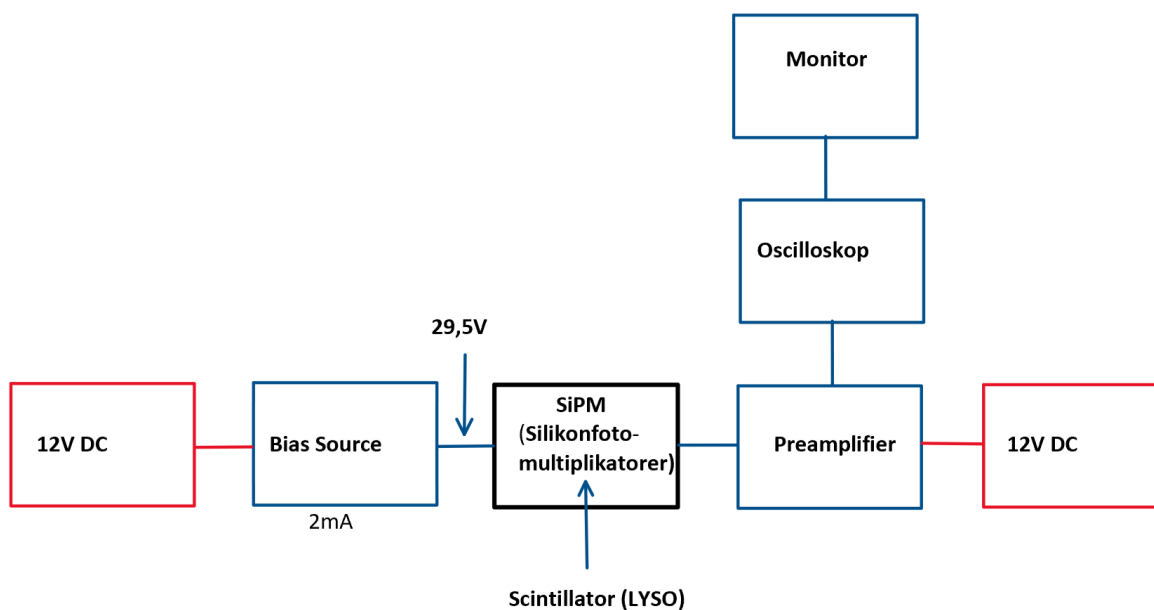
*Figur 10: Tektronix TBS 2000 oscilloskop*

Til slutt valgte vi en løsning som fokuserer på bruken av et oscilloskop. Ettersom denne metoden kan brukes uten MCA eller en Arduino tenkte vi på det som et godt løsningsalternativ dersom de to første alternativene ikke fungerte. Oscilloskopet kunne kobles direkte til preamplifieren og viste også gode visualiseringer av pulsene. De nyere oscilloskopene har også mange nyttige funksjoner som måling av pulsbredde og frekvens som kan benyttes.



Figur 11 skjermbilde av SCPI Command til Tektronix TBS 2000 oscilloskop

Til slutt kom vi frem til at et datainnsamlingsprogram i samhandling med oscilloskopet var den beste versjonen av denne løsningen. Ved å bruke auto-klikker fikk vi maskinen til å ta gjentatte målinger innen bestemte tidsintervaller. Vi tenkte at en slik løsning ville være både effektiv og sikker med tanke på at vi ikke trengte å være i nærheten av de radioaktive kildene mer enn nødvendig.



Figur 12 Oscilloskop Blokkdiagram



### 3.1.4 Vurderinger i forhold til verktøy og HW/SW komponenter

Arbeidsgiver har gitt oss stor frihet til å utføre oppgaven ved hjelp av den metoden vi foretrekker. Vi har fått lov til å velge løsningsalternativ selv og fått friheten til å endre fremgangsmåten vår dersom det kreves. Vi fikk utstyr av Emerson som vi ble anbefalt å bruke, og brukte hovedsakelig dette. Etter hvert kjøpte vi ekstra utstyr i tillegg til dette, men vi kjøpte også utstyr til å erstatte komponenter som sluttet å fungere.

Oppgavegiver har gitt oss stor frihet til å utføre oppgaven ved hjelp av den metoden vi foretrekker. Vi har fått lov til å velge løsningsalternativ selv og fått friheten til å endre fremgangsmåte dersom det kreves. Vi fikk utstyr av dem som vi ble anbefalt å bruke og brukte hovedsakelig dette. Etter hvert kjøpte vi ekstra utstyr i tillegg til dette, men vi kjøpte også utstyr til å erstatte komponenter som sluttet å fungere.

Det første utstyret vi tok i bruk var en MCA8000A og vi hadde dessverre ingen tidligere kunnskaper eller brukserfaringer med dette utstyret. Dette skulle vise seg å være en stor ulempe fordi det er problematisk å koble opp dette utstyret til pc-ene våre. Vi fant ut at programvaren som MCAen brukte var tilregnet eldre operativsystem, og at vi trengte en datamaskin som bruke Windows XP. En kombinasjon av vår mangel på forkunnskap og at tidligere dokumentasjon av dette apparatet var lite tilgjengelig, førte til at vi brukte mye lengre tid på å sette opp dette oppsettet en først antatt.

### Komponenter

#### ***KETEK-SiPM Evaluation kit*** [12][13][14]

KETEK sitt utstyr er enkelt å koble sammen, og kan brukes for et bredt spekter av applikasjoner som krever f.eks. enkeltfotontelling eller måling med scintillator. Dette settet inneholder et *kretskort med SiPM*, en *forsterker* og en *LYSO krystall*. I tillegg har vi brukt KETEK sin *Bias source*.

#### ***Kretskort med SiPM (KETEK PM3315-WB)***

SiPM kobles til Bias source og forsterker. Den har lav temperaturdrift og god timing ytelses med lav driftsspenning i forhold til PM rør. [3] Hovedoppgaven til SiPM er å telle enkeltfotoner og måle deres energispektrum og tidsopløsning. [12]

### ***KETEK Preamplifier (Forsterker)***

Signalet vi får fra SiPM er svakt, derfor forsterker vi signalet slik at det blir støytolerant og med stor nok amplitude til videre behandling. Forsterker må kobles til en +12V DC power supply. Her brukte vi Keithley 2231A-30-3 triple channel DC power supply. [12] [14]

### ***KETEK GmbH LYSO (3x3x20mm<sup>3</sup>)***

LYSO er en scintillatorkrystall med høy tetthet (g/cm<sup>3</sup>) og kort forfallstid [12] [14]. Før vi tok målinger smurte vi LYSO krystallen inn i optisk fett og la den oppå SiPM. Optisk fett reduserer eller eliminerer interne refleksjoner og dermed øker lysets transmittans. [15]

### ***KETEK Bias source*** [13]

Denne kobles direkte til SiPM og brukes for å gi strøm til SiPM. Spenningen kan være mellom 20 og 40 volt. Vi har valgt å bruke 29,5V siden det er innenfor overspenningsområdet. [13] Nedbryt spenningen til SiPM er 26,9V, og anbefalt overspenning er 2-5V (Max. 6V). Strømmen kan settes på 2mA eller 20mA, men for å ikke ødelegge SiPM er det viktig at denne er stilt inn på 2mA.

### ***Radioaktive kilder***

Under målinger var kildene satt opp slik at de pekte vinkelrett på strålingsvinduet til kilden.

I målingene bruke vi to radioaktive kilder:

*Caesium-137* har en aktivitet på 10 uCi, og sender ut gamma-fotoner med energi på 622 keV. Den brukes til blant annet å overvåke vekt, tykkelse og tetthet av industriprodukter, samt å spotte ut sprekker i sveising og rør. [16]

*Americium-241* har en aktivitet på 1 uCi, og sender ut gamma-fotoner med energi på 59,5 keV. Den har blitt brukt til væsketetthetsmålere, tykkelse målere, fly brensel målere og avstandsmåler. Der alle bruker dens gamma stråling. [17]

### ***Frekvens forsterker (Amplifier)***

Frekvens forsterkeren gjør det mulig å se hvordan utgangsgevinsten og fasen endres ved en bestemt enkeltfrekvens. [14]

### ***Mørke-boks***

Siden SiPM er lyssensitiv, har alle målinger blitt gjort i en mørke-boks. Inni den ligger SiPM og Bias Source. Vi boret så hull i mørke-boksen for ledninger, og brukte svart teip for at minst mulig lys skulle komme inn. (NB! SiPM er svært lyssensitiv. Det er viktig at alt lys blir utelukket under målinger, ellers kan SiPM bli ødelagt.)

### ***Oscilloskop (TBS2000)***

Vi koblet oscilloskop til forsterkeren, så til monitor for å automatisk ta målinger av arealet til pulsene.

### ***MCA8000A***

Er en multichannel analyser med høy ytelse, som blir brukt i høy tetthetskretser. Denne kobles direkte til monitor. Det virket ikke som om programvaren fungerte på nyere operativsystem (Windows 10), men den fungerte fint på Windows XP. [18]

### ***Arduino***

Arduino kan omgjøre analoge til digitale signaler. Vi brukte Arduino for å lage et program som automatisk lagret målinger fra SiPM. Dette gjorde vi med å sende analoge pulser til Arduino-kortet, for å så lagre det til fil.

### ***Kabler***

CAT-5

SMA til SMA male

SMA male til BNC male

SMA male til BNC female

BNC kabel

Bananplugg

BNC male til LEMO FFA.05

### **3.2 Løsnings alternativ konklusjoner**

Til å begynne med kom vi frem til tre konkrete løsningsalternativer. Etter dette satt vi opp alle de ulike løsningsalternativene en etter en og gjorde enkle forsøk. Etter nøye gjennomgang av fordelene og ulempene med de ulike metodene kom vi frem til at løsningen som tar i bruk oscilloskopet klart er den beste løsningen for oss.

#### **Løsningsalternativ 1:**

Det første løsningsalternativet gikk ut på å bruke MCA8000A programvaren som vi fikk fra Roxar. Denne programvaren viste seg å ikke være tilegnet nyere operativsystem, som var den første ulempen vi oppdaget med dette utstyret. Senere fikk vi også problemer med å få inn et ordentlig signal. Vi prøvde å forbedre signalet med en opamp, men isteden fikk vi for det meste inn støy og fant fort ut andre metoder kunne være verdt å teste. Med tanke på at det begynte å tyde på at dette utstyret ikke var helt tilegnet det vi hadde tenkt oss, gikk vi videre til løsningsalternativ 2.

#### **Løsningsalternativ 2:**

Det andre løsningsalternativet vi gikk for var å koble til en Arduino. Ved å skrive et script tilpasset til å samle inn data gjorde vi forsøk for å se om en Arduino ville fungere bedre enn MCA. Det vi kom frem til var at dette var en bedre løsning på problemet, men at det fortsatt var stort rom for forbedring. Vi fikk inn signaler, men ikke nok til at vi kunne få nok målinger til at studien skulle bli gjennomførbar.

Et annet problem med Arduino løsningen var at siden Arduino ikke er i stand til å lese en hel puls bare om spenningen var over en viss terskel eller innenfor et visst spennings område. Dette fører til at dataen vi får fra tester med Arduino bare kan brukes til å måle noen få parametere. Terskelen vi satt var på ca. 5mV.

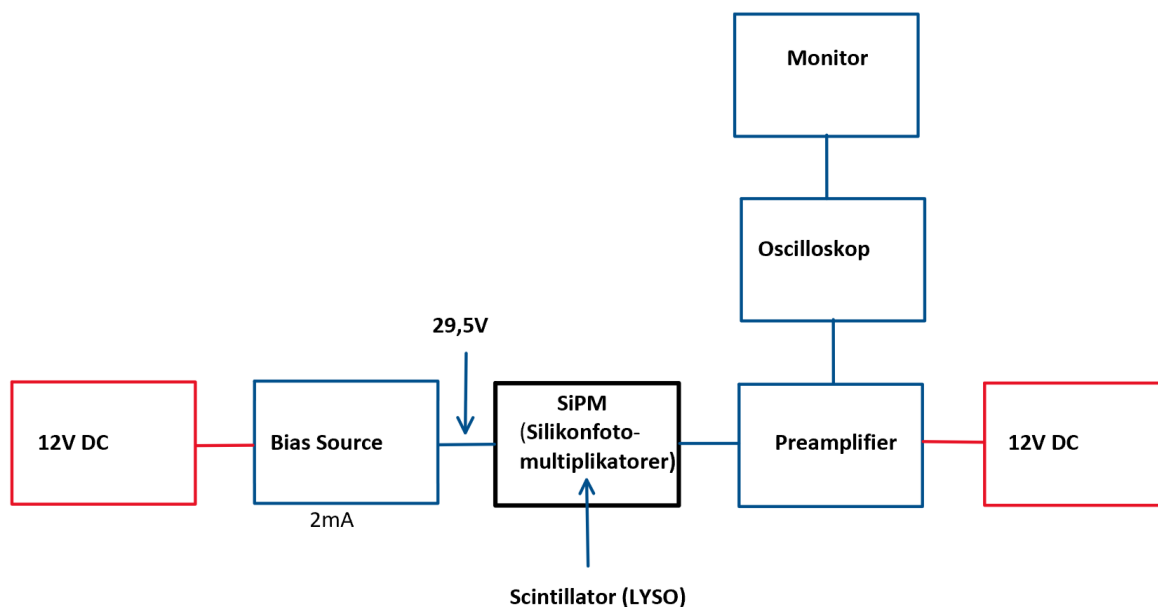
Scriptet vi lagde til Arduino skulle sjekke analog port så ofte som mulig for å se om den var innenfor et visst spenningsnivå og i tillegg sende en melding til PC med et visst tidsintervall. Vi måtte gjøre koden

så enkel som mulig for at den skulle kunne få flest mulig sjanser til å detektere en puls. Det som var hovedproblemet i starten var puls tid, tiden på pulsen vi fikk fra sensoren var på ca. 250nS mens Arduino sjekket spenningen 9000 ganger i sekundet. Dette blir da en gang hvert 111,111µS. Vi prøvde å forsterke signalet og gjøre pulsene lengre men da ble det for mye støy for Arduino kunne skille mellom støyen og pulsene.

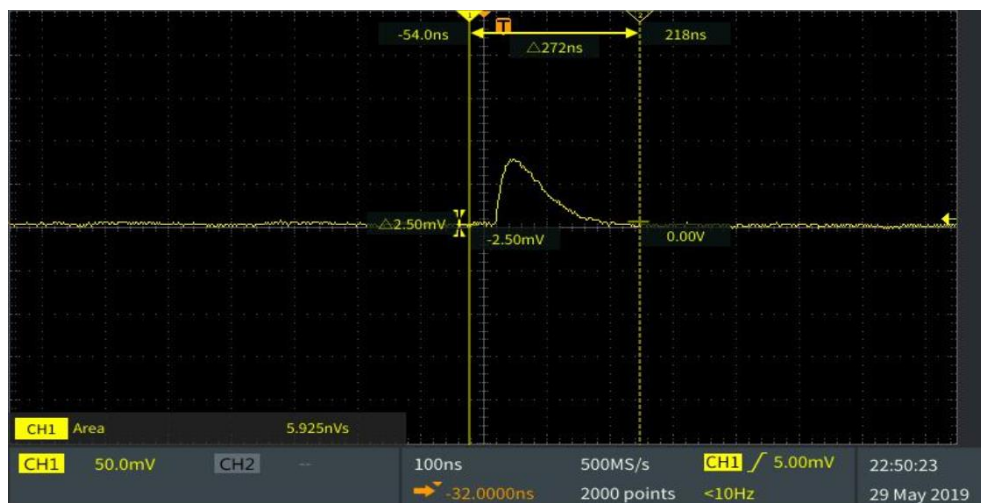
### Løsningsalternativ 3:

Det siste løsningsalternativet gikk ut på å bruke Oscilloskopet for å få inn signalene. Ved å bruke denne metoden fikk vi signalet fra fotodioden inn til oscilloskopet og kunne bruke skopet til å måle frekvens, puls bredde, areal og diverse andre egenskaper. Fordelen med å bruke denne metoden er at vi hadde et datainnsamlingsprogram som vi enkelt kunne bruke sammen med oscilloskopet. Slik at det ble enkelt å få inn målinger. På denne måten ble prosessen til dels automatisert og denne metoden var også mye sikrere enn de andre. Dette kommer av at den gikk ut på å bruke et allerede eksisterende program (datainnsamlingsprogrammet), istedenfor at vi skulle laget et eget script (som i Arduino løsningen).

## 4 Realisering av valgt løsning



Figur 13 Illustrasjon av valgt løsning (Løsningsalternativ 3)



*Figur 14 Puls målt av oscilloskop uten ekstern kilde*

Figur 14 er et eksempel hvordan en puls fra SiPM blir tatt opp på oscilloskopet. Arealet under grafen mellom de to strekene blir målt og vist som Area. Den har et triggernivå på 5mV for å forsikre at den bare måler pulser. Dette er tatt med bare LYSO krystall som kilde.

Etter at vi hadde prøvd ut alle løsningsalternativene og evaluert test resultatene kom vi frem til at det beste alternativet var alternativ 3. Denne løsningen tar i bruk et oscilloskop for å vise signalene fra fotomultiplikatoren. Vi koblet oscilloskopet til en datamaskin ved å bruke den innebygget funksjon av oscilloskopet som lar deg monitorere skopet gjennom en nettleser. Hvis du kobler til en PC med en ethernet kabel og skriver inn en IP adresse, som du kan finne på oscilloskopet, som en URL i en nettleser, kommer du inn på en lokal nettside som er hostet på oscilloskopet. På den nettsiden kunne vi styre oscilloskopet ved å bruke Standard Commands for Programmable Instruments (SCPI). Dette er et kommandospråk som lar deg sende kommandoer til oscilloskopet som en ascii melding. Den kommandoen vi brukte var "MEASUREMENT:IMMED:VALUE?" som gir kommandoen om å sende ut hva den målte verdien det den målte akkurat var. Så brukte vi et datainnsamlingsprogram til å registrere målingene vi fikk fra det radioaktive materialene. Programmet tok så gjentatte målinger i fastbestemte tidsintervaller. Til slutt samlet vi alle resultatene og lagde grafer ut ifra dette.

Planen for å utføre forsøkene går ut på å foreta langtidsmålinger over en gitt tidsperiode. Til å begynne med gjorde vi forsøk uten kilde for å skape oss selv et bilde av hvordan grafene ville se ut uten en kilde i bildet. Etter at vi hadde skapt denne grafen, tok vi nye forsøk med kilder og sammenlignet de nye grafene med de gamle.

Vi koblet en spenningskilde på 12 V til en bias kilde og koblet igjen disse til en SiPM diode. Deretter ble dette koblet til en preamplifier for å forsterke signalet. Et oscilloskop ble koblet til preamplifieren for å tolke signalene, i tillegg til en 12 V DC kilde. Hele dette oppsettet er illustrert i Figur 13

## 5 Diskusjon

### 5.1 Komplikasjoner og risiko

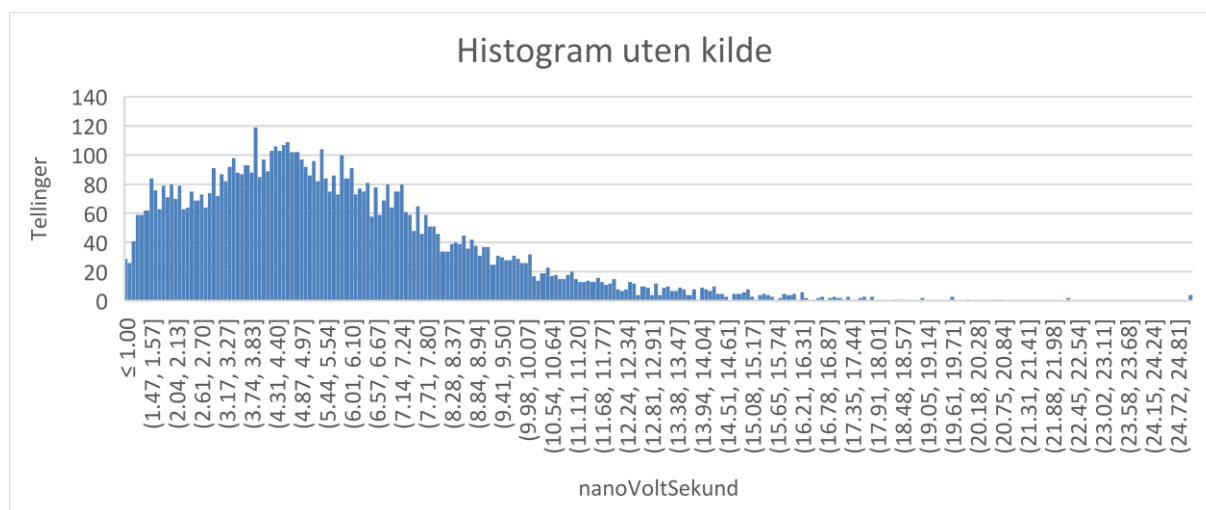
Risikoanalysen vi tok i forstudiet tilsa at de potensielle farene det var mest sannsynlig å møte var teknisk feil i hardware og brukerfeil på systemet. De problemene som derimot ville skapt flest utfordringer for oss var om lagret arbeid hadde gått tapt eller om tidsplanen til prosjektet hadde blitt forskjøvet så mye at vi ikke hadde klart å bli ferdig til fristen. Risikoanalysen har vært ganske presis for oss med tanke på at «teknisk feil i hardware» har vært det største problemet for oss gjennom oppgaven. Den største konsekvensen av dette har vært at vi har vært nødt til å bestille nytt utstyr og det har ofte forekommet lange ventetider. Forskyvning av tidsplanen har derfor forekommet i noen tilfeller og utsatt arbeidet vårt. Ingen av de andre elementene i risiko analysen har skapt problemer for oss.

Det største hinderet vi har hatt under oppgaven er problemer knyttet til uforutsette feil med utstyret vi har bestilt. Det har vært flere hendelser der ulikt utstyr ikke har fungert slik som det skal, dette har ført til at vi har blitt nødt til å bestille nytt utstyr. I flere av tilfellene har dette vært utstyr som er kritisk for forsøkene våre, som har ført til at vi har måtte utsette videre målinger. Dette har så resultert i at timeplanen har blitt flyttet og resultert i at vi har lagt etter skjemaet. Vi hadde ikke forutsett at vi måtte bestille nytt utstyr og den lange ventetiden på det nye utstyret gjorde det vanskeligere å følge tidsplanen.

Verken veileder, oppdragsgiver eller gruppemedlemmer hadde noe spesifikk erfaring med utstyr vi har brukt. Dette er i tillegg til at vi hadde en dårlig oversikt over hvilket utstyr som var inkludert og hva som måtte bestilles. Spesifikt måtte vi vente på kabel overganger for å kunne koble til MCA, oscilloskopet og AC-spenningskilde til forsterkeren. Når vi begynte på forsøk ble det raskt klart at MCA programvaren ADMCA kunne kjøre på Windows 10, men hele programmet frøs med en gang den koblet til MCA. Vi løste dette ved å prøve den på en Windows XP maskin hvor den kjørte uten problem. Når vi begynte testing direkte med oscilloskopet fikk vi ingen målinger og vi innså raskt at SiPM hadde blitt ødelagt. Dette skjedde fordi for mye strøm hadde blitt sendt gjennom, mens den har blitt eksponert til relativt sterkt lys, og at det ble brukt for høy strømbegrensing på bias modulen.

## 5.2 Analyse av data

Vi tok først en test uten kilde. Deretter tok vi to tester med forskjellige kilder. Den første kilden vi brukte var en Cesium-137 kilde med en aktivitet på 10uCi. Cesium kilden sender ut gamme-fotoner med en energi på 662 keV. Den andre kilden vi brukte var en Americium-241 kilde med en aktivitet på 1uCi. Gamma energien fra denne er på 59.5 keV. Resultatene fra disse forsøkene er presentert nedenfor.

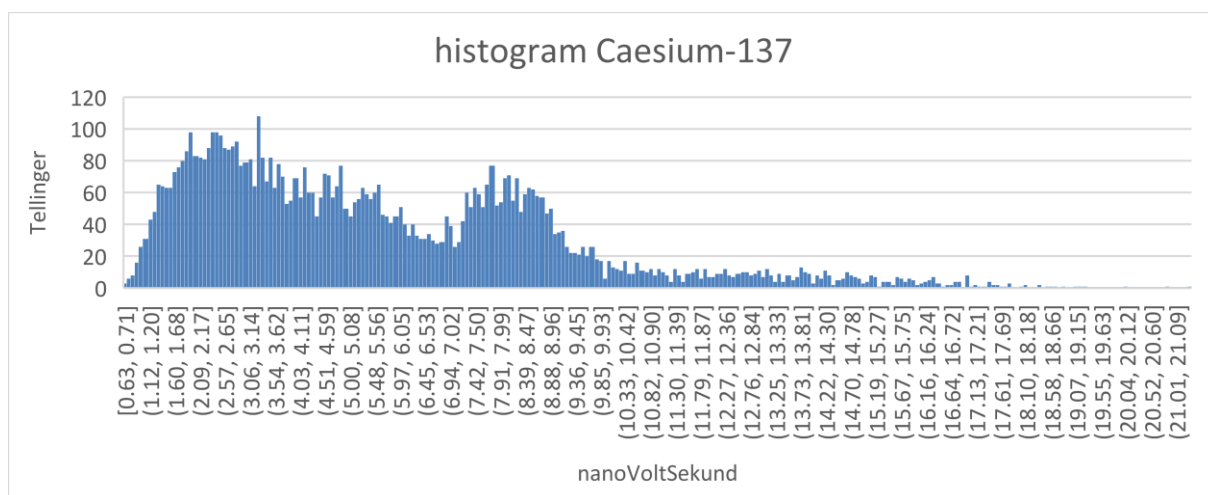


Figur 15 Test 1 uten ekstern kilde og 7235 målinger

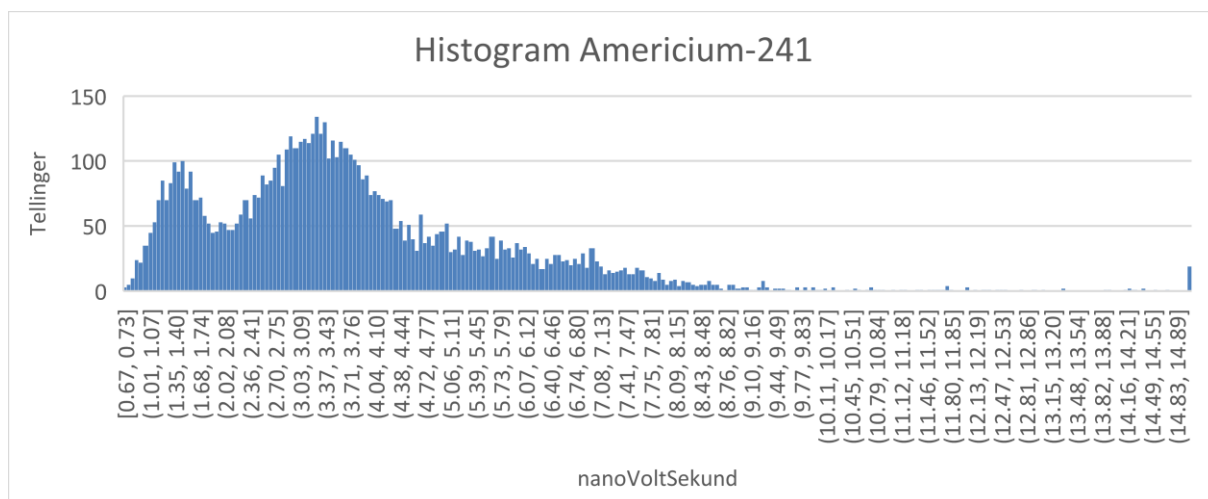
Y-aksen på målingene er antall tellinger og X-aksen er energi i nanovoltsekund (nVs). For å kunne konvertere voltsekund til joule måtte vi også ha utført en energikalibrering ved å bestemme tre eller flere fotontopper og plote dette mot kjente fotonenergier. Det er ikke mulig for oss å gjøre dette siden vi bare har to fotontopper med kjent fotonenergi.

Den første testen vi tok hadde vi ingen ekstern kilde så det eneste strålingen vi detekterte var bakgrunnsstråling og stråling fra LYSO krystallen. Vi håpet på å få to distinkte topper for å kunne bestemme krystallen sin strålingsenergi. LYSO krystaller inneholder Lutetium som naturlig inneholder ca. 2.7% isotop som er svakt radioaktivt. Hvis vi hadde klart å få en distinkt topp i alle tre eksperimentene ville vi kunne energikalibrert dem, men siden bare to av dem hadde en distinkt topp fra en kjent strålskilde er ikke det mulig. [4, p. 249]

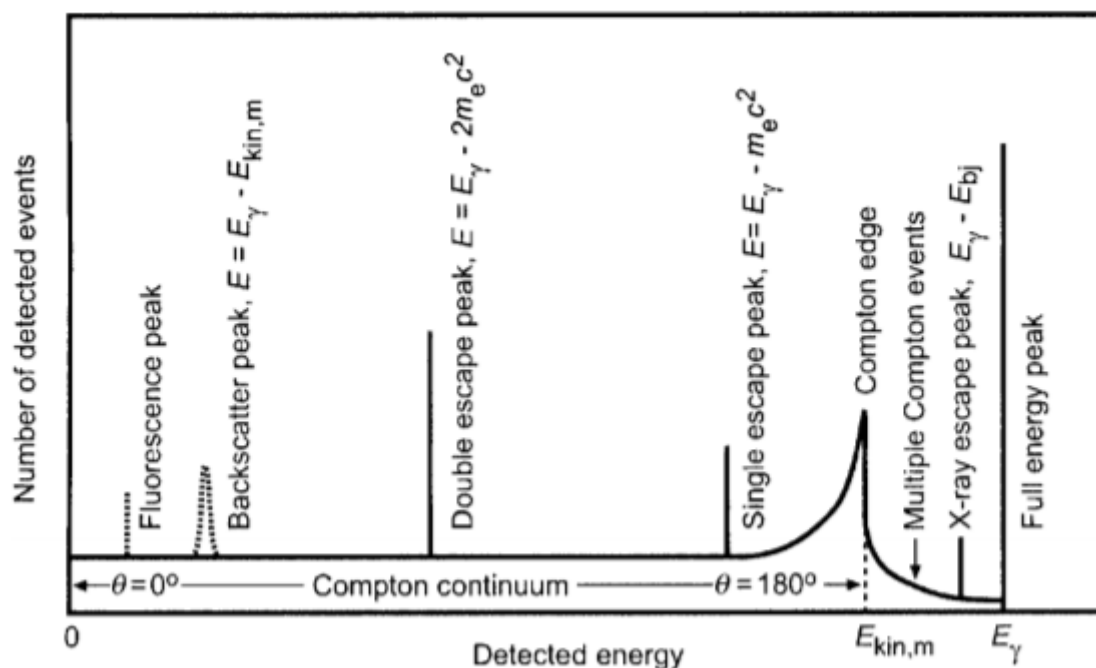




Figur 16 Test 2 med kilde Caesium-137 kilde med en aktivitet på 10 uCi, energi på 662 keV og 7033 målinger



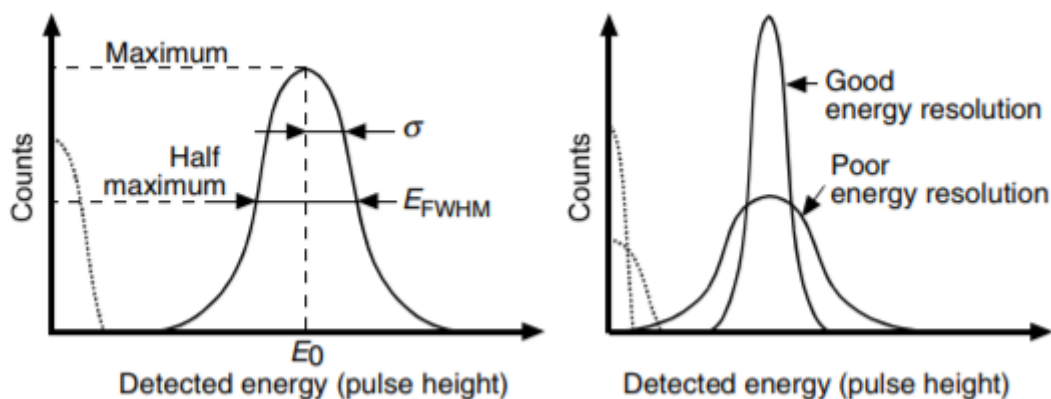
Figur 17 Test 3 med kilde Americium-241 med en aktivitet på 1uCi. Her er gamma-energien på 59.5 keV og 7126 målinger



Figur 18 energispektrum uten støy fra monokromatisk fotoner [3] figur 4.3 side 66

Det som er vist i Figur 18 energispektrum uten støy fra monokromatisk fotoner er et ideelt energispektrum uten støy og med 100% energiopløsning. Siden majoriteten av energien i test 1 kommer fra bakgrunnsstråling vil det ikke følge dette mønsteret. De eneste toppene vi kan identifisere i målingene våre er full energitoppene som er 7.8nVS for test 2 og 1.5nVS for test 3. I test 2 kan det se ut som om det er flere topper inne fra 3.3nVS og fram til fullenergi toppen, men siden alle befinner seg innenfor samme området som vi målte bakgrunnsstråling før kan vi ikke si noe definitivt om dem.

En måte vi kan se hvor god dataen vi fikk er å sjekke energiopløsningen som er gitt symbol R. Energiopløsningen til en strålings detektor uttrykker evnen til å omgjøre strålingsenergi. Ideelt skal det målte spektrumet være en enkel linje, men i en reel detektor vil den flates utover til en kurve. Jo lavere R jo bedre er evnen til å skille mellom flere energitopper. [3, p. 75]



Figur 19 energiopløsning illustrasjon [3] Figur 4.8 side 75

Energi oppløsning er definert som  $R = \frac{E_{FWHM}}{E_0} 100\%$  [3, p. 75]. Vi kan da finne  $E_0$  og  $E_{FWHM}$  testene. I test 2 velger jeg bømte nummer 89 med 77 tellinger. NanoVoltSekund til denne bømten finner du ved startverdi + bømtenummer\*bømteavstand =  $0.63 + 89 * 0.8084 = 7.82$ . Finner da  $E_{FWHM}$  ved å finne de punktetene nærmest til  $7.83$  som krysser  $77/2 = 38.5$  tellinger.  $E_{FWHM} = \text{bømte } 81 - \text{bømte } 105$  ved å bruke samme formelen som tidligere for å finne NanoVoltSekund får vi at:

$$\text{Test 2 } R = ((9.12 - 7.18) / 7.82) * 100\% = 24.8\%$$

Gjør det samme med test 3 hvor startverdi =  $0.67$  og bømteavstand =  $0.05618$ . Vi velger bømte 15 med 100 tellinger som  $E_0$ . Dermed blir  $E_{FWHM}$  bømte 8 – bømte 22

$$\text{Test 3 } R = ((1.91 - 1.12) / 1.51) * 100\% = 52.3\%$$

Med dette kan vi si at energiopløsningen er bedre ved høyere energinivåer, dette kan skyldes større fluktuasjoner i produksjon av scintillasjonslys som gjør at blir mer følsom til statiske fluktuasjoner. En typisk energi oppløsning for en LYSO krystall på  $622 \text{ keV}$  er på  $7.5\text{-}10\%$  [4, p. 223]. Det kan være flere faktorer som gjør at dataene vi får ikke ser ut som det skal i teorien, men den største faktoren er mest sannsynlig krystall oppsettet vårt og et lite antall målinger. Krystallen vi brukte er  $3 \times 3 \times 20 \text{ mm}$  og ble lagt vinkelrett på strålingsvindu. Dette gjorde at ble et veldig lite tverrsnitt for gamma fotoner å påvirke scintillasjonsmaterialet og en stor del av strålingen vil dermed enten ikke påvirke krystallen i det hele tatt eller bare delvis. Den andre måten krystaloppsettet vårt kan ha forskjøvet målinger er at den ikke var bekledd med refleksivmateriale så flere lys glimt kan ha skjedd, men bare delvis blitt tatt opp av SiPM.

## 6 Konklusjon

Bacheloroppgaven vår er en studie som baserer seg på alle forsøkene vi har gjort gjennom de siste månedene. Vi har hatt mye fremgang i denne perioden, men også tilbakeslag. Vi har fått gjort forsøk, testet ulikt utstyr og lært hvordan ulike komponenter og apparater fungerer. Resultatene vi sitter igjen med etter denne bacheloren er at vi har fått testet egenskapene til noen kilder, men at vi ikke har nok data til en fullstendig studie. De forsøkene vi har gjort med data som er nyttig for oss er de tre siste testene hvor vi brukte oscilloskopet til å måle energien på pulsene. Det er ikke så mye nyttig informasjon som kan bli tatt ut ifra disse målingene, siden testene bare varte ca. 10 timer kan vi ikke si noe om langtidsstabilitet og fordi bare to av dem har distinkte topper kan vi ikke energi kalibrere.

Videre arbeid med studiet vil innebære forsøk av flere kilder for å få et bredere utvalg av resultater å sammenligne. Ved å skape egnede grafer for de ulike kildene kan man sammenligne hvordan de ulike parameterne varierer fra kilde til kilde. Andre forbedringer til oppgaven kan være et bedre datainnsamlingssystem og tilslutt at man bruker resultatene man får til å kunne forbedre de allerede eksisterende detektorene.

Det som også kan vurderes å få testet ut flere forskjellige scintillasjonsmaterialer for å se hvordan de fungerer sammen med SiPM, studere om organisk eller uorganiske scintillasjonsmaterialer er bedre sammen med SiPM. Vi hadde kun en LYSO krystall tilgjengelig og hadde ikke tid til å bestille flere etter at vi hadde tatt målinger med den.

Lage en permanent mørk boks til SiPM. Løsningen vi hadde var en stor boks med hull for ledninger som vi måtte teipe igjen hver gang vi satt det opp. Den kan 3D-printes og hvis det lages plass for en kilde kan den isoleres mot stråling også for å eliminere bakgrunnsstråling.

Finne en metode for å ta langtidsmålinger. Metoden vi brukte med oscilloskop og auto klikke SCPI kommandoer gjennom nettleser sluttet å samle data etter ca. 7000 målinger. De må da enten lage en MCA med en mikrokontroller eller lignende eller bruke oscilloskopet som dataleser, men skrive et program som lagrer data direkte fra oscilloskopet og ikke trenger å gå gjennom en nettleser og nettside laget av noen andre.

## Referanser

- [1] Atlantia AS, Norwegian Society for Oil and Gas Measurement, Atlantia AS, Framo Engineering, Roxar, UIB, «nfogm.no,» Norwegian Society for Oil and Gas Measurement, 2005. [Internett]. Available: <https://nfogm.no/metering-school/multiphase-metering-course-norwegian/>. [Funnet 30 5 2019].
- [2] Roxar, «emerson.com,» 2 2018. [Internett]. Available: <https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet-mpfm-2600-mvg-datasheet-roxar-en-us-170812.pdf>. [Funnet 29 5 2019].
- [3] P. J. Geit Anton Johansen, Radioisotope Gauges for Industrial, 4 John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [4] G. F. Knoll, Radiation Detection and Measurement-Wiley, John Wiley & Sons, Inc. , 2010.
- [5] KETEK GmbH, «Ketk,» KETEK GmbH, 2019. [Internett]. Available: <https://www.ketek.net/store/products/lyso-scintillator/>. [Funnet 31 5 2019].
- [6] Emerson Electric Co, «emerson,» Emerson Electric Co, 2019. [Internett]. Available: <https://www.emerson.com/no-no/about-us/company-history>. [Funnet 31 5 2019].
- [7] Emerson Electric Co, «emerson,» Emerson Electric Co, 2019. [Internett]. Available: <https://www.emerson.com/no-no/automation/roxar>. [Funnet 31 5 2019].
- [8] Vainu.io Software Oy, «Vainu,» Vainu.io Software Oy, 2019. [Internett]. Available: <https://vainu.io/company/roxar-software-solutions-as-omsetning-og-finansiell/1977897/bedriftsinformasjon>. [Funnet 31 5 2019].
- [9] AMPTEK, «AMPTEK,» AMPTEK, 2019. [Internett]. Available: <http://amptek.com/mca8000a-multichannel-analyzer-software-downloads/>. [Funnet 30 5 2019].
- [10] Arduino, «store.arduino,» Arduino, 2019. [Internett]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. [Funnet 31 5 2019].
- [11] Advatech UK Limited, «advatech-uk,» [Internett]. Available: [https://www.advatech-uk.co.uk/lyso\\_ce.html](https://www.advatech-uk.co.uk/lyso_ce.html). [Funnet 27 05 2019].
- [12] KETEK, «ketek.net,» 10 2016. [Internett]. Available: <https://www.ketek.net/sipm/electronics-and-systems/evaluation-kits/>. [Funnet 27 5 2019].
- [13] KETEK, «ketek.net,» 10 2016. [Internett]. Available: <https://www.ketek.net/wp-content/uploads/2016/01/KETEK-SiPM-Bias-Source-Datasheet.pdf>. [Funnet 27 05 2019].

[14 Ketek, «Ketek.net,» 10 2016. [Internett]. Available: <https://www.ketek.net/wp-content/uploads/2016/01/KETEK-SiPM-EvaluationKit-QuickStartGuide.pdf>. [Funnet 27 05 2019].

[15 SPI supplies, «2spi.com,» SPI supplies, 2017. [Internett]. Available: <https://www.2spi.com/catalog/documents/Cargille%20Optical%20Gel,%20Code%200608,%201%20oz.pdf>. [Funnet 30 05 2019].

[16 Hong Kong Observatory, «hko.gov.hk,» 2016. [Internett]. Available: [https://www.hko.gov.hk/m/article\\_e.htm?title=ele\\_00307](https://www.hko.gov.hk/m/article_e.htm?title=ele_00307). [Funnet 26 05 2019].

[17 L. Morss, «britannica,» 23 04 2019. [Internett]. Available: <https://www.britannica.com/science/americium#ref61682>. [Funnet 27 05 2019].

[18 Amptek, «Amptek,» 15 Oktober 2012. [Internett]. Available: <http://amptek.com/wp-content/uploads/2014/03/MCA-8000A-Pocket-Multichannel-Analyzer.pdf>. [Funnet 27 05 2019].

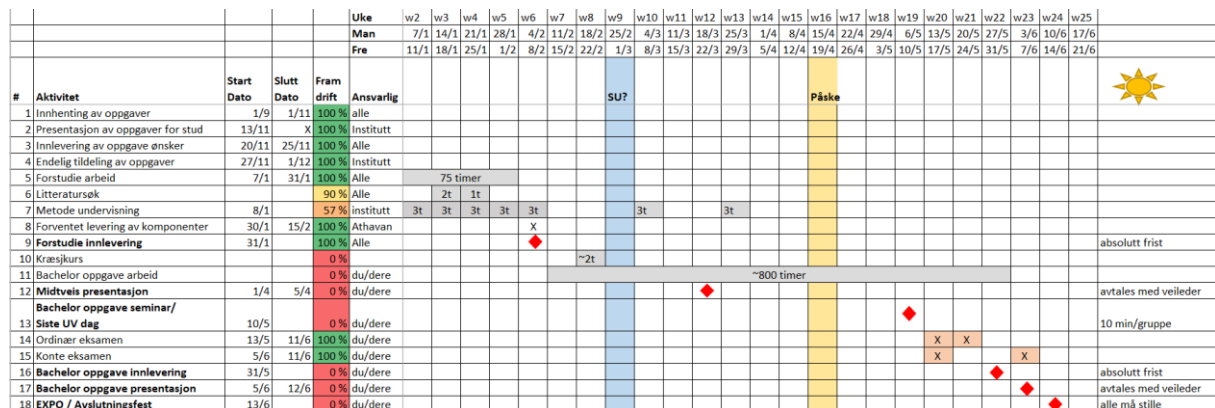
## **Appendiks A      Forkortelser og ordforklaringer**

LYSO	Lutetium-yttrium oxyorthosilicate
MCA	Multi Channel Analyzer
MPFM	Multiphase Flow Meter
PCB	Printed Circuit Board
PM	Photomultiplier
SiPM	Silicon Photo Multiplier
SPAD	Single-photon Avalanche Diode

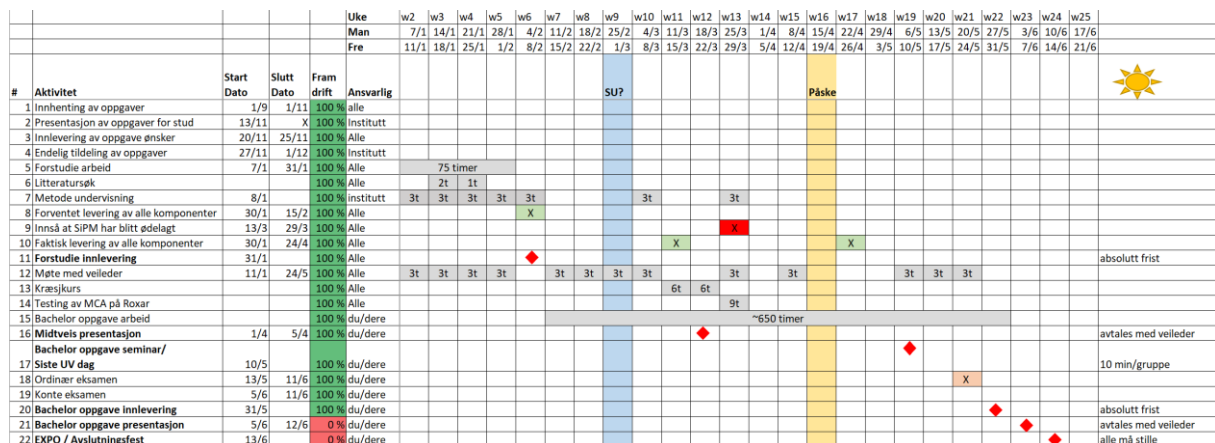
## A.1 Prosjektorganisasjon

Arbeidet har blitt fordelt ganske likt innad i gruppen. Dette kommer av at vi har gjort det meste av det fysiske arbeidet sammen slik at alle medlemmene har fått gjort sin del. Vi har hatt en person til å fokusere på dokumenteringen av prosjektet, en annen til å sette opp det fysiske oppsettet og den siste personen har automatisert datainnsamlings prosess. Ved å fordele arbeidsoppgavene ut ifra hvilke felt hvert medlem er sterkest, føler vi at samhandlingen innad i gruppen har blitt veldig god.

## A.2 Fremdriftsplan



Figur 20: Gant diagram forstudie



Figur 21: Gant diagram

### A.3 Risikoliste

Nr	Risiko	Sannsynlighet	Alvorlighetsgrad	Konsekvens
1	Lagret arbeid går tapt	2	10	Begynne på nytt
2	Feil i program	3	6	Finne feilen og løse problemet
3	Feilbestilling av komponenter	3	3	Finne ut viktigheten av komponenten og eventuelt bestille på nytt
4	Teknisk svikt av HW	7	8	Bestille nytt utstyr, men dette vil være et tilbakeslag
5	Brukerfeil på systemet	5	4	Sette seg inn i systemet og se om noe kan endres
6	Overgår tidsfrist for innlevering av bachelorprosjektet	1	10	Må gjøre Hele prosjektet på nytt



## Appendiks B      **Figur liste**

Figur 1:Tverrsnitt av en typisk Gammadensitometri måler. [3] figur 7.1 side 214.....	7
Figur 2 LYSO scintillator krystall [5] .....	8
Figur 3: flerfasemåler Roxar MPFM 2600 MVG [1] .....	9
Figur 4 MCA 8000A, lånt fra Roxar .....	11
Figur 5 MCA blokkdiagram .....	12
Figur 6: Arduino Uno [10] .....	13
Figur 7: Arduino blokkdiagram.....	13
Figur 8: Program som kjører på arduino og leser verdien til analog inngang så ofte som mulig og teller opp når den er over en viss verdi og sender antall tellinger til pc hvert tiende sekund.....	14
Figur 9 Skriver data som den mottar fra arduinoen til fil på PC med tidsstempel .....	14
Figur 10: Tektronix TBS 2000 oscilloskop .....	15
Figur 11 skjerm bilde av SCPI Command til Tektronix TBS 2000 oscilloskop .....	16
Figur 12 Oscilloskop Blokkdiagram .....	16
Figur 13 Illustrasjon av valgt løsning (Løsningsalternativ 3).....	21
Figur 14 Puls målt av oscilloskop uten ekstern kilde .....	22
Figur 15 Test 1 uten ekstern kilde og 7235 målinger .....	24
Figur 16 Test 2 med kilde Caesium-137 kilde med en aktivitet på 10 uCi, energi på 662 keV og 7033 målinger.....	25
Figur 17 Test 3 med kilde Americium-241 med en aktivitet på 1uCi. Her er gamma-energien på 59.5 keV og 7126 målinger .....	25
Figur 18 energispektrum uten støy fra monokromatisk fotoner [3] figur 4.3 side 66 .....	26
Figur 19 energiopløsning illustrasjon [3] Figur 4.8 side 75 .....	27
Figur 20: Gant diagram forstudie .....	31
Figur 21: Gant diagram .....	32

## Appendiks C      **Kildekode, skjemadesign, Gant-diagram, datablad, etc.**

Se vedlegg.